

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari CV. Citra Mentari. Berikut data-data yang dibutuhkan mengenai penjadwalan produksi:

##### 4.1.1 Data Pesanan

Data pesanan *customer* yang digunakan yaitu pada tanggal 25 Februari 2019 – 2 Maret 2019. Berikut data pesanan yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pesanan

| No | Tanggal Pesan | Jenis Pesanan  | Job | Kuantitas | Satuan unit | Jumlah Lembar |
|----|---------------|--|-----|-----------|-------------|---------------|
| 1  | 25-02-2019    | Majalah Al-lim   | J1  | 400       | Eksemplar   | 11200         |
| 2  | 25-02-2019    | Brosur Elektro   | J2  | 1000      | Lembar      | 1000          |
| 3  | 26-02-2019    | Formulir Lazismu   | J3  | 1         | Rim         | 500           |
| 4  | 26-02-2019    | LJK Bantur   | J4  | 16        | Rim         | 8000          |
| 5  | 26-02-2019    | Buku Doa   | J5  | 1000      | Lembar      | 7000          |
| 6  | 27-02-2019    | Buku Pedoman Kepala BPS Provinsi dan Kepala BPS Kabupaten/Kota | J6  | 44        | Eksemplar   | 1012          |
| 7  | 27-02-2019    | Buku Pedoman Teknis Petugas Pemetaan                           | J7  | 1556      | Eksemplar   | 101140        |
| 8  | 27-02-2019    | Buku Pedoman Teknis Pengawas                                   | J8  | 583       | Eksemplar   | 16324         |
| 9  | 27-02-2019    | Daftar SP2020-RS   | J9  | 4550      | Eksemplar   | 9100          |
| 10 | 27-02-2019    | Daftar LK-M  | J10 | 25036     | Lembar      | 25036         |
| 11 | 27-02-2019    | Daftar SP2020-RD   | J11 | 4550      | Eksemplar   | 9100          |
| 12 | 27-02-2019    | Form Laporan Kegiatan Pengawas                                 | J12 | 992       | Lembar      | 992           |
| 13 | 28-02-2019    | Buku Parenting   | J13 | 3000      | Eksemplar   | 105000        |

#### 4.1.2 Data Jumlah Mesin Yang Digunakan

Berikut jumlah mesin yang digunakan oleh perusahaan CV. Citra Mentari dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Mesin yang Digunakan

| No | Jenis Mesin                   | Jumlah Mesin | Daya (watt) | Besar Energi saat Proses (Kw/menit) | Daya (watt) | Besar Energi saat Idle (Kw/menit) |
|----|-------------------------------|--------------|-------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| 1  | Mesin Cetak                   | 1            | 4400        | 0.0733                              | 400         | 0.0073                            |
| 2  | Mesin <i>Collator</i>         | 1            | 175         | 0.0029                              | 0           | 0                                 |
| 3  | Mesin <i>Binding</i>          | 1            | 3500        | 0.0583                              | 700         | 0.0058                            |
| 4  | Mesin Potong                  | 1            | 3830.5      | 0.0638                              | 470         | 0.0039                            |
| 5  | Mesin <i>Sealling Shrink</i>  | 1            | 1100        | 0.0183                              | 0           | 0                                 |
| 6  | Mesin <i>Shrink Packaging</i> | 1            | 3000        | 0.05                                | 0           | 0                                 |

Perusahaan memiliki 6 jenis mesin yang digunakan. Mesin cetak *offset* digunakan pada operasi mencetak. Mesin *collator* digunakan pada operasi pengurutan. Mesin *binding* digunakan pada operasi penjilidan. Mesin potong digunakan pada operasi pemotongan. Mesin *sealling shrink* digunakan pada operasi *packaging* plastik untuk memotong plastik sesuai ukuran buku dan Mesin *Shrink packaging* digunakan untuk melekatkan plastik tersebut.

#### 4.1.3 Tahapan Proses Produksi

Proses produksi percetakan memiliki beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu cetak. Proses ini merupakan kegiatan mencetak lembaran dengan mesin cetak *offset*. Proses selanjutnya yaitu pengurutan lembaran-lembaran hasil cetak di urutan sesuai dengan halaman yang sudah ada. Dalam proses pengurutan menggunakan mesin *collator*. Hasil dari proses pengurutan diteruskan ke proses *binding*. Proses *binding* yaitu proses penjilidan menggunakan lem panas dengan mesin *binding*. Kemudian dilanjutkan proses pemotongan untuk merapikan kembali ukuran buku atau hasil cetakan dengan menggunakan mesin potong. Dan

tahapan terakhir yaitu proses *packaging*. Proses ini merupakan kegiatan *packaging* menggunakan plastik dengan metode press dan menggunakan dua mesin sekaligus dalam prosesnya.

Dalam proses produksi tidak semua produk melalui seluruh tahapan. Akan tetapi memiliki alur proses yang sama. Proses produksi dilakukan sesuai dengan permintaan dari *customer*.

#### 4.1.4 Data Waktu Proses Tiap Job

Waktu proses tiap *job* diperoleh dari perhitungan waktu siklus dikalikan dengan jumlah pesanan. Pada penelitian ini didapat waktu siklus tiap mesin dapat dilihat pada tabel 4.3. Dan hasil waktu proses pada tiap pesanan juga dapat dilihat pada tabel 4.4 dan 4.5.

Tabel 4.3 Data Waktu Siklus

| No | Jenis Mesin                   | Rata -rata Kapasitas (unit/menit) | Cycle Time (detik) |
|----|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 1  | Mesin Cetak                   | 36                                | 1,67 / lembar      |
| 2  | Mesin <i>Collator</i>         | 60                                | 1 / lembar         |
| 3  | Mesin <i>Binding</i>          | 13                                | 4.6 / eksemplar    |
| 4  | Mesin Potong                  | 30                                | 2 / eksemplar      |
| 5  | Mesin <i>Sealling Shrink</i>  | 20                                | 3 / eksemplar      |
| 6  | Mesin <i>Shrink Packaging</i> | 20                                | 3 / eksemplar      |

Contoh perhitungan dalam menentukan waktu proses pada *job* 1.

$$Ws_1 = \frac{\text{Rata - rata kapasitas tiap mesin/menit}}{60}$$

$$Ws_1 = \frac{36}{60} = 1.67 \frac{\text{detik}}{\text{lembar}}$$

Contoh perhitungan dalam menentukan waktu proses pada *job* 1.

$$\begin{aligned} pt_{1,1} &= Ws_1 \times N \\ &= 1.67 \text{detik} \times 11200 \text{ lembar} \\ &= 18666.7 \text{ detik} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Data Waktu Proses (detik)

| No | Job | Mesin (detik) |        |       |       |      |      |
|----|-----|---------------|--------|-------|-------|------|------|
|    |     | M1            | M2     | M3    | M4    | M5   | M6   |
| 1  | J1  | 18666.7       | 11200  | 1800  | 800   | 1200 | 1200 |
| 2  | J2  | 1666.67       |        |       | 2000  |      |      |
| 3  | J3  | 833.333       |        |       | 1000  |      |      |
| 4  | J4  | 13333.3       |        |       | 16000 |      |      |
| 5  | J5  | 11666.7       | 7000   |       | 2000  |      |      |
| 6  | J6  | 1686.67       | 1012   | 202.4 | 88    | 132  | 132  |
| 7  | J7  | 168567        | 101140 | 7002  | 3112  | 4668 | 4668 |
| 8  | J8  | 27206.7       | 16324  |       | 1166  |      |      |
| 9  | J9  | 15166.7       | 9100   |       | 9100  |      |      |
| 10 | J10 | 41726.7       |        |       | 50072 |      |      |
| 11 | J11 | 15166.7       | 9100   |       | 9100  |      |      |
| 12 | J12 | 1653.33       |        |       | 1984  |      |      |
| 13 | J13 | 175000        | 105000 | 13500 | 6000  | 9000 | 9000 |

Tabel 4.5 Data Waktu Proses (menit)

| No | Job | Mesin (menit) |         |       |        |      |      |
|----|-----|---------------|---------|-------|--------|------|------|
|    |     | M1            | M2      | M3    | M4     | M5   | M6   |
| 1  | J1  | 311.11        | 186.67  | 30    | 13.33  | 20   | 20   |
| 2  | J2  | 27.78         |         |       | 33.33  |      |      |
| 3  | J3  | 13.89         |         |       | 16.67  |      |      |
| 4  | J4  | 222.22        |         |       | 266.67 |      |      |
| 5  | J5  | 194.44        | 116.67  |       | 33.33  |      |      |
| 6  | J6  | 28.11         | 16.87   | 3.3   | 1.47   | 2.2  | 2.2  |
| 7  | J7  | 2809.44       | 1685.67 | 116.7 | 51.87  | 77.8 | 77.8 |
| 8  | J8  | 453.44        | 272.07  |       | 19.43  |      |      |
| 9  | J9  | 252.78        | 151.67  |       | 151.67 |      |      |
| 10 | J10 | 695.44        |         |       | 834.53 |      |      |
| 11 | J11 | 252.78        | 151.67  |       | 151.67 |      |      |
| 12 | J12 | 27.56         |         |       | 33.07  |      |      |
| 13 | J13 | 2916.67       | 1750    | 225   | 100    | 150  | 150  |

## 4.2 Pengolahan Data

### 4.3.1 Contoh Perhitungan Kasus Sederhana 4 Job 3 Mesin

Contoh kasus sederhana ini digunakan untuk validasi *coding* pada program matlab. Data-data yang dibutuhkan pada kasus ini dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7.

Tabel 4.6 Waktu Proses Kasus Sederhana

| <i>Job</i>   | Mesin |    |    |
|--------------|-------|----|----|
|              | M1    | M2 | M3 |
| <i>Job 1</i> | 5     | 6  | 11 |
| <i>Job 2</i> | 8     | 4  | 7  |
| <i>Job 3</i> | 11    | 9  | 3  |
| <i>Job 4</i> | 14    | 15 | 20 |

Tabel 4.7 Energi yang Dikeluarkan Tiap Mesin

| Mesin | Energi saat Proses (KW) | Energi saat <i>Idle</i> (KW) |
|-------|-------------------------|------------------------------|
| M1    | 2                       | 1                            |
| M2    | 1                       | 1                            |
| M3    | 2                       | 1                            |

### 4.3.2 Perhitungan Total Konsumsi Energi 4 Job 3 Mesin Menggunakan Metode GAWOA Secara (manual)

Perhitungan manual algoritma GAWOA kasus *flowshop* sederhana menggunakan data pada tabel 4.6 dan tabel 4.7. Berikut merupakan tahapan perhitungan total konsumsi energi menggunakan algoritma GAWOA :

#### 1. Tahap 1 : Menentukan Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari penelitian ini yaitu untuk meminimasi total konsumsi energi.

#### 2. Tahap 2 : Pembangkitan Populasi

Pembangkitan populasi dilakukan secara acak dari seluruh urutan *job*. Dalam menentukan jumlah populasi tidak memiliki aturan tertentu. Tetapi didalam

beberapa penelitian menjelaskan bahwa semakin besar jumlah populasi akan meningkatkan performansi dari algoritma genetika dalam mendapatkan solusi terbaik, namun hal ini dapat membebani waktu komputasi yang sangat lama (Mahmudy, 2013). Adapun dalam penelitian ini populasi yang dibangkitkan sebanyak 5 untuk mempermudah dalam penyelesaian, yaitu sebagai berikut :

$$X1 = 1-2-4-3$$

$$X2 = 3-4-2-1$$

$$X3 = 1-3-2-4$$

$$X4 = 2-1-3-4$$

$$X5 = 1-2-3-4$$

Pada tahap pembangkitan populasi acak berupa urutan pengerjaan *job*. Pada populasi X1 urutan pengerjaan *job* yaitu *job1-job2-job4-job3*, populasi X2 urutan pengerjaan *job* yaitu *job3-job4-job2-job1*, begitu juga seterusnya.

### 3. Tahap 3 : Perhitungan fungsi Tujuan

Pada tahap perhitungan fungsi tujuan akan dihitung nilai total konsumsi energi tiap populasi. Berikut merupakan contoh perhitungan satu populasi, kemudian populasi selanjutnya dihitung dengan tahapan yang sama. Populasi yang digunakan yaitu pada populasi pertama yaitu X1 dengan urutan *job* 1-2-4-3.

Berikut merupakan hasil perhitungan total konsumsi energi pada penjadwalan *job* untuk populasi X1 dengan urutan *job* 1-2-4-3, didapatkan total konsumsi energi sebesar 217 satuan energi. Hasil perhitungan yang diperoleh menggunakan rumus-sumus yang ada pada persamaan 8 hingga 16. Maka contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Nilai } c_{1,1} = 5$$

$$\text{Nilai } c_{1,2} = 5 + 6 = 11$$

$$\text{Nilai } c_{2,1} = 5 + 8 = 13$$

$$\text{Nilai } c_{2,2} = \max(11,13) + 4 = 17$$

$$\text{Nilai } B_1 = 5 + 8 + 11 + 14 = 38$$

$$\text{Nilai } Y_1 = 11 - 11 = 0$$

$$\text{Nilai } CT_1 = \max(5, 13, 27, 38) = 38$$

$$\text{Nilai } wi_1 = 38 - (38 + 0) = 0$$

$$\text{Nilai } TEC = ((38 \times 2) + (34 \times 1) + (41 \times 2)) + ((0 \times 1) + (12 \times 1) + (13 \times 1))$$

$$TEC = 217$$

Dengan perhitungan yang sama, sehingga dihasilkan total waktu penyelesaian seluruh *job*, total waktu sibuk, waktu mulai operasi dan waktu *idle* pada tiap mesin yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.8 Contoh Perhitungan Konsumsi Energi pada Sampel X1

| Urutan<br>Job                                | Waktu proses |    |    | Mulai |    |    | SELESAI |    |    |
|--|--------------|----|----|-------|----|----|---------|----|----|
|  | M1           | M2 | M3 | M1    | M2 | M3 | M1      | M2 | M3 |
| J1   | 5            | 6  | 11 | 0     | 0  | 0  | 5       | 11 | 22 |
| J2   | 8            | 4  | 7  | 5     | 11 | 22 | 13      | 17 | 29 |
| J4   | 14           | 15 | 20 | 13    | 17 | 29 | 27      | 42 | 62 |
| J3   | 11           | 9  | 3  | 27    | 42 | 62 | 38      | 51 | 65 |
| Waktu sibuk tiap mesin (Bi)                  |              |    |    |       |    |    | 38      | 34 | 41 |
| Waktu mulai tiap mesin (Yi)                  |              |    |    |       |    |    | 0       | 5  | 11 |
| Waktu penyelesaian tiap mesin (CTi)          |              |    |    |       |    |    | 38      | 51 | 65 |
| Waktu <i>idle</i> tiap mesin (Wii)           |              |    |    |       |    |    | 0       | 12 | 13 |
| Konsumsi Energi saat sibuk (Epi)             |              |    |    |       |    |    | 76      | 34 | 82 |
| Konsumsi Energi saat waktu <i>idle</i> (Eii) |              |    |    |       |    |    | 0       | 12 | 13 |
| Total Konsumsi energi tiap Mesin             |              |    |    |       |    |    | 76      | 46 | 95 |
| TOTAL KONSUMSI ENERGI                        |              |    |    |       |    |    | 217 KW  |    |    |

Keterangan :

Waktu penyelesaian *job* ke-j pada mesin ke-i  $= c_{j,i}$

Waktu sibuk pada mesin ke-i  $= B_i$

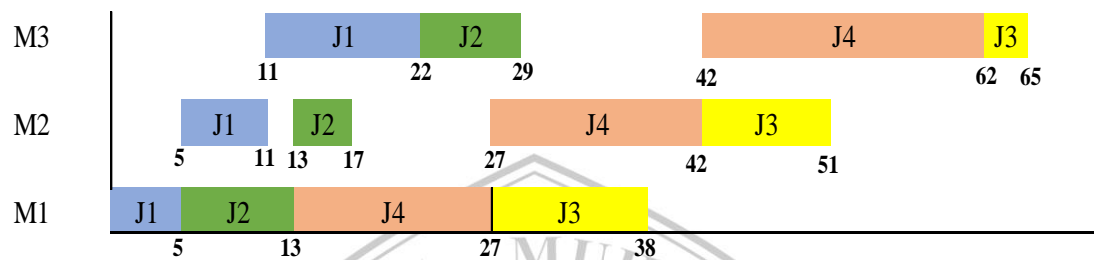
Waktu mulai pada tiap mesin ke-i  $= Y_i$

Total waktu penyelesaian seluruh *job* tiap mesin ke-i  $= CT_i$

Waktu *idle* pada tiap mesin ke- $i$   $= wi_i$

Total konsumsi energi  $= TEC$

Dari contoh perhitungan pada populasi X1 didapat total waktu penyelesaian seluruh *job* yaitu 65 detik dan menghasilkan konsumsi energi sebesar 217 KW *Gantt chart* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Gantt Chart* Populasi X1

Hasil perhitungan total konsumsi energi dari seluruh sampel dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Rekapitulasi Total Konsumsi Energi

| Sampel | Urutan  | Total Konsumsi Energi (KW) |
|--------|---------|----------------------------|
| X1     | 1-2-4-3 | 217                        |
| X2     | 3-4-2-1 | 214                        |
| X3     | 1-3-2-4 | 227                        |
| X4     | 2-1-3-4 | 223                        |
| X5     | 1-2-3-4 | 227                        |

#### 4. Tahap 4 : Penentuan Sampel Elit

Dalam penentuan sampel elit maka nilai total konsumsi energi dari seluruh populasi diurutkan berdasarkan nilai yang terkecil hingga terbesar. Kemudian dari tabel 4.10 akan dipilih satu sampel teratas yang memiliki nilai total konsumsi energi terkecil sebagai sampel elit. Yaitu sampel ke-2 (X2) dengan urutan prioritas *job* yaitu 3-4-2-1.



Tabel 4.10 Hasil Pengurutan Total Konsumsi Energi

| No | Sampel | Urutan  | Total Konsumsi Energi (KW) |
|----|--------|---------|----------------------------|
| X1 | X2     | 3-4-2-1 | 214                        |
| X2 | X1     | 1-2-4-3 | 217                        |
| X3 | X4     | 2-1-3-4 | 223                        |
| X4 | X3     | 1-3-2-4 | 227                        |
| X5 | X5     | 1-2-3-4 | 227                        |

### 5. Tahap 5 : Perhitungan *Linier Fitness Ranking* (LFR)

Perhitungan nilai LFR ini digunakan untuk pembobotan sampel dalam pemilihan induk pada proses pindah silang. LFR diperoleh melalui rumus :

$$LFR(I(N - I + 1)) = F_{max} - (F_{max} - F_{min}) * ((x - 1)/(N - 1))$$

Dimana :  $F_{max} = 1/\text{Total Konsumsi Energi Terkecil}$  (1)

$$F_{min} = 1/\text{Total Konsumsi Energi Tebesar}$$
 (N)

Maka didapat nilai  $F_{max} = 1/Z(1) = 1/214 = 0.004673$  dan  $F_{min} = 1/Z(5) = 1/227 = 0,004405$ . Berdasarkan hasil total konsumsi energi yang sudah diurutkan maka LFR untuk ke lima sampel adalah :

1.  $X1 = X2 \rightarrow LFR = 0.004673 - ((0.004673 - 0.004405) * ((1 - 1)/(5 - 1))) = 0.004673$
2.  $X2 = X1 \rightarrow LFR = 0.004673 - ((0.004673 - 0.004405) * ((2 - 1)/(5 - 1))) = 0.004606$
3.  $X3 = X4 \rightarrow LFR = 0.004673 - ((0.004673 - 0.004405) * ((3 - 1)/(5 - 1))) = 0.004539$
4.  $X4 = X3 \rightarrow LFR = 0.004673 - ((0.004673 - 0.004405) * ((4 - 1)/(5 - 1))) = 0.004472$
5.  $X5 = X5 \rightarrow LFR = 0.004673 - ((0.004673 - 0.004405) * ((5 - 1)/(5 - 1))) = 0.004405$

### 6. Tahap 6 : Elitisme

Pada tahap elitisme ini digunakan untuk menyimpan sampel yang memiliki nilai fungsi tujuan terbaik pada tiap iterasi. Kemudian sampel akan muncul kembali pada populasi sampel di iterasi selanjutnya. Hal tersebut dilakukan agar menjaga

individu dengan nilai fitness tertinggi tidak hilang selama evolusi (Widodo, 2017). Pada kasus ini, maka sampel yang di elitism adalah  $X2 = 3-4-2-1$ .

## 7. Tahap 7 : Pemilihan Induk Pindah Silang

Pemilihan kromosom sebagai induk yang akan dipindah silangkan dilakukan secara proporsional sesuai dengan nilai fitness-nya. Dengan menggunakan mekanisme *roulette wheel*, dilakukan pemilihan induk 1 dari sampel elit dan induk 2 dari sampel keseluruhan.

### 1) Pemilihan induk 1

Pada pemilihan induk 1 ini akan diambil dari nilai sampel elit pada iterasi sebelumnya yang memiliki fungsi tujuan terbaik, dari mekanisme elitisme didapatkan pada populasi sampel  $X2 = 3-4-2-1$ .

### 2) Pemilihan induk 2

Pada pemilihan induk 2 ini akan dipilih berdasarkan nilai evaluasi dari sampel keseluruhan dengan menggunakan nilai LFR dari sampel yang sedang dievaluasi. Apabila nilai perbandingan antara kumulatif LFR dan total LFR lebih besar dari nilai *random* yang dibangkitkan, maka sampel tersebut menjadi induk 2.

$$\begin{aligned}\text{Total LFR} &= 0.004673 + 0.004606 + 0.004539 + 0.004472 + 0.004405 \\ &= 0.022695\end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan probabilitas kumulatif LFR :

$$X1 = 0.004673 / 0.022695 = 0.2059$$

$$X2 = (0.004673 + 0.004606) / 0.022695 = 0.4088$$

$$X3 = (0.004673 + 0.004606 + 0.004539) / 0.022695 = 0.6088$$

$$X4 = (0.004673 + 0.004606 + 0.004539 + 0.004472) / 0.022695 = 0.8059$$

$$X5 = (0.004673 + 0.004606 + 0.004539 + 0.004472 + 0.004405) / 0.022695 = 1$$

Dari hasil probabilitas kumulatif LFR dan hasil pembangkitan bilangan *random* dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan LRF

| No | Ci     | Ri     |
|----|--------|--------|
| X1 | 0.2059 | 0.1419 |
| X2 | 0.4088 | 0.5018 |
| X3 | 0.6088 | 0.9157 |
| X4 | 0.8059 | 0.8922 |
| X5 | 1      | 0.9595 |

Keterangan :

Ri = pembangkitan bilangan *random*,  $\epsilon[0,1]$

Ci = hasil probabilitas kumulatif LFR

Kemudian berdasarkan tabel 4.11 Hasil dari probabilitas kumulatif dibandingkan dengan bilangan *random* pada setiap sampel menggunakan persamaan 2.11 dan 2.12. Berikut hasil perhitungannya :

$X1 = 0.2059 > 0.1419$ , (terpilih)

$X2 = 0.2059 < 0.5018 > 0.4088$ , (tidak terpilih)

$X3 = 0.4088 < 0.9157 > 0.6088$ , (tidak terpilih)

$X4 = 0.6088 < 0.8922 > 0.8059$ , (tidak terpilih)

$X5 = 0.8059 < 0.9595 < 1$ , (terpilih)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diketahui sampel X2 dijadikan sebagai induk 1 sedangkan sampel X1 dan X5 ditetapkan sebagai induk 2.

## 8. Tahap 8 : Cross over (Pindah Silang)

*Cross over* merupakan kegiatan menyilangkan 2 induk untuk membentuk kromosom baru dan menghasilkan individu baru yang lebih baik. Metode yang digunakan yaitu *2-point order crossover*. Dari hasil langkah pemilihan induk pindah silang diperoleh bahwa X2 ditetapkan sebagai induk 1 dan X1 dan X5 sebagai induk 2.

Apabila dalam pembangkitan bilangan *random* dihasilkan bilangan *random* yang lebih kecil dari parameter pindah silang ( $Pc$ ), maka akan dilakukan pindah silang terhadap kedua kromosom induk tersebut dan menggantikan populasi terpilih dengan anak induk hasil pindah silang. Namun jika sebaliknya bilangan *random* lebih besar dari parameter pindah silang ( $Pc$ ), maka tidak terjadi pindah silang terhadap kedua kromosom induk tersebut. Dimana batasan bilangan *random* ( $R$ ) ialah dari 0 hingga 1. Dan batasan penentuan parameter  $Pc$  yaitu 0 hingga 1, semakin besar nilai  $Pc$  akan mempengaruhi performansi dalam mencari solusi terbaik. Pada percobaan ini dipilih parameter  $Pc$  sebesar 0.9. Berikut dapat dilihat sampel yang mengalami pindah silang pada tabel 4.12.

Tabel 4.82 Pemilihan Sampel Pindah Silang

| No | Sampel       | R      | Pc  | Kesimpulan                        |
|----|--------------|--------|-----|-----------------------------------|
| X1 | X2 = 3-4-2-1 | 0.9984 | 0.9 | Tidak dilakukan <i>cross over</i> |
| X2 | X1 = 1-2-4-3 | 0.3404 | 0.9 | Dilakukan <i>cross over</i>       |
| X3 | X4 = 2-1-3-4 | 0.9597 | 0.9 | Tidak dilakukan <i>cross over</i> |
| X4 | X3 = 1-3-2-4 | 0.5853 | 0.9 | Dilakukan <i>cross over</i>       |
| X5 | X5 = 1-2-3-4 | 0.2238 | 0.9 | Dilakukan <i>cross over</i>       |

Pada tahapan sebelumnya ditetapkan bahwa X2 sebagai induk 1 dan X1 sebagai induk 2. Apabila hasil bilangan *random* yang dibangkitkan memiliki nilai lebih kecil dari parameter pindah silang, maka dilakukan pindah silang antara induk X2 dan X1. Hasil dari pindah silang tersebut akan menggantikan populasi terpilih. Untuk menentukan bagian dari sampel induk yang ditukar, maka dilakukan mekanisme dengan membangkitkan bilangan *random*, dan diperoleh bilangan *random* 0.449 dan 0.673 (lihat tabel 4.13). Kemudian nilai *random* tersebut dikonversi menjadi bilangan bulat, dan digunakan sebagai pembatan bagian sampel yang akan dipindah silang antar induk.

$$r_i = \text{ceil}(\text{random} * n)$$

$$r_1 = \text{ceil}(0.449 * 4) = 1.797 \approx 2, \text{ maka } p1 = 2$$

$$r_2 = \text{ceil}(0.637 * 4) = 2.693 \approx 3, \text{ maka } p2 = 3$$

P1 = titik awal gen yang akan dilakukan *cross over*

P2 = titik akhir gen yang akan dilakukan *cross over*

$$\text{Induk 1} = 3 \ 4 \mid 2 \mid 1$$

$$\text{Induk 2} = 1 \ 2 \mid 4 \mid 3$$

Kemudian angka dalam kurung ditukar antar induk menjadi seperti berikut :

$$\text{Calon anak 1} = \dots \dots 4 \dots$$

$$\text{Calon anak 2} = \dots \dots 2 \dots$$

Untuk mengisi titik-titik pada calon anak 1, maka dilakukan pemeriksaan tiap operasi pada induk 1. Operasi yang belum tercantum pada calon anak 1, maka akan dimasukkan secara berurutan sesuai urutan pada induk 1. Sehingga sampel hasil pindah silang yaitu menjadi :

$$\text{Anak 1} = 3 - 2 - 4 - 1 \rightarrow \text{menggantikan X2 lama}$$

$$\text{Anak 2} = 1 - 4 - 2 - 3 \rightarrow \text{menggantikan X4 lama}$$

Dengan cara yang sama dilakukan proses *cross over* antara X2 dengan X5. Apabila nilai *random* lebih kecil dari *Pc* (0.9), maka terjadi pindah silang. Hasil pindah silang antara Induk 1 dan induk 2 digunakan untuk menggantikan urutan ke 2, 4 dan 5 (hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.12 dan tabel 4.13), sehingga populasi baru menjadi :

$$X1 = 3 - 4 - 2 - 1$$

$$X2 = 3 - 2 - 4 - 1$$

$$X3 = 2 - 1 - 3 - 4$$

$$X4 = 1 - 4 - 2 - 3$$

$$X5 = 2 - 3 - 4 - 1$$

Tabel 4.93 Proses *Cross Over*

| C        | Urutan<br><i>Job</i> | <i>Random</i><br>(R) | Ri = ceil<br>( <i>random</i> *<br>n) dan<br>n=4 | Ceil<br>yang di<br><i>cross</i><br><i>over</i> | Hasil<br><i>Cross</i><br><i>over</i> | Keterangan |    |
|----------|----------------------|----------------------|---|--|--------------------------------------|------------|----|
| 1        | 2                    | 3                    | 4   | 5  | 6                                    | 7          |    |
| X2 dg X1 | 3-4-2-1              | r1                   | 0.449   | 1.797 = 2                                      | 3-4 2-1                              | 3-2-4-1    | X2 |
|          | 1-2-4-3              | r2                   | 0.673   | 2.693 = 3                                      | 1-2 4-3                              | 1-4-2-3    | X4 |
| X2 dg X5 | 3-2-4-1              | r1                   | 0.423   | 1.692 = 2                                      | 3-2 4-1                              | 2-1-3-4    | -  |
|          | 1-2-3-4              | r2                   | 0.897   | 3.588 = 4                                      | 1-2 3-4                              | 2-3-4-1    | X5 |

Tabel 4.104 Hasil Proses *Cross Over*

| No | Sampel       | R      | Pc  | Kesimpulan                       | Hasil<br>Cross<br>over | Keterangan                                 |
|----|--------------|--------|-----|----------------------------------|------------------------|--|
| X1 | X2 = 3-4-2-1 | 0.9984 | 0.9 | Tidak<br>dilakukan<br>cross over | 3-4-2-1                | Diambil dari<br>kromosom induk<br>X2       |
| X2 | X1 = 1-2-4-3 | 0.3404 | 0.9 | Dilakukan<br>Cross over          | 3-2-4-1                | Hasil <i>cross over</i><br>induk X2 dan X1 |
| X3 | X4 = 2-1-3-4 | 0.9597 | 0.9 | Tidak<br>dilakukan<br>cross over | 2-1-3-4                | Diambil dari<br>kromosom induk<br>X4       |
| X4 | X3 = 1-3-2-4 | 0.9853 | 0.9 | Dilakukan<br>Cross over          | 1-4-2-3                | Hasil <i>cross over</i><br>induk X2 dan X1 |
| X5 | X5 = 1-2-3-4 | 0.2238 | 0.9 | Dilakukan<br>Cross over          | 2-3-4-1                | Hasil <i>cross over</i><br>induk X2 dan X5 |

## 9. Tahap 9 : Mutasi

Mutasi merupakan tahapan untuk memunculkan individu baru yang berbeda. Dalam menentukan berapa banyak kromosom mengalami perubahan, maka perlu ditentukan probabilitas mutasi ( $P_m$ ). Semakin besar nilai probabilitas mutasi maka semakin banyak pula kromosom dalam populasi yang akan mengalami mutasi. Batasan dari parameter mutasi sama halnya dengan parameter pindah silang yaitu dari 0 hingga 1. Proses mutasi akan dipilih dengan cara membangkitkan bilangan *random* (R). Apabila nilai *random* lebih kecil dari parameter mutasi maka akan dilakukan proses mutasi, dan jika nilai *random* lebih besar maka tidak dilakukan proses mutasi.

Apabila telah ditentukan nilai parameter mutasi dalam percobaan ini yaitu 0.3 dan nilai N adalah jumlah populasi. Kemudian dilanjutkan untuk mencari banyaknya jumlah sampel kromosom yang akan dilakukan mutasi.  $Na = P_m \times N = 0.3 \times 5 = 1.5 \approx 2$ , maka terdapat 2 sampel kromosom yang akan mengalami mutasi. Setelah itu, membangkitkan bilangan *random* untuk mengetahui sampel kromosom yang akan mengalami mutasi. Berikut merupakan hasil pembangkitan bilangan *random* dan kromosom yang terpilih akan mengalami proses mutasi.

Tabel 4.15 Penentuan Mutasi Pada Kromosom

| No | Hasil Cross Over | Random mutasi | Pm  | Keterangan             |
|----|------------------|---------------|-----|------------------------|
| X1 | 3 – 4 – 2 – 1    | 0.9340        | 0.3 | Tidak dilakukan mutasi |
| X2 | 3 – 2 – 4 – 1    | 0.6551        | 0.3 | Tidak dilakukan mutasi |
| X3 | 2 – 1 – 3 – 4    | 0.1190        | 0.3 | Dilakukan mutasi       |
| X4 | 1 – 4 – 2 – 3    | 0.8491        | 0.3 | Tidak dilakukan mutasi |
| X5 | 2 – 3 – 4 – 1    | 0.2760        | 0.3 | Dilakukan mutasi       |

Pada tabel 4.15 maka didapatkan kromosom yang mengalami mutasi yaitu pada sampel X2 dan X5. Untuk menentukan posisi pertukaran (*exchange point*) maka perlu membangkitkan bilangan *random* kembali. Berikut contoh perhitungan mutasi :

$$r_1 = \text{ceil}(0.378 * 4) = 1.512 \approx 2, \text{ maka } ep1 = 2$$

$$r_2 = \text{ceil}(0.879 * 4) = 3.514 \approx 4, \text{ maka } ep2 = 4$$

Ep1 = titik posisi perpindahan ke-1

Ep2 = titik posisi perpindahan ke-2

$$\text{Sampel X3} = 2 - 1 - 3 - 4$$

Setelah menemukan titik posisi perpindahan, kemudian melakukan pertukaran antara dua titik posisi tersebut. Sehingga dihasilkan populasi baru sebagai berikut :

$$\text{Hasil mutasi X3} = 2 - 4 - 3 - 1$$

Untuk mengetahui proses mutasi yang terjadi pada sampel X5, dilakukan tahapan yang sama seperti perhitungan pada sampel X3. Sehingga didapatkan hasil mutasi pada sampe X5 yaitu sebagai berikut :

$$\text{Sampel X5} = 2 - 3 - 4 - 1$$

$$\text{Hasil mutasi X5} = 1 - 3 - 4 - 2$$

Berikut merupakan hasil populasi setelah mengalami proses mutasi :

Tabel 4.16 Proses Hasil Mutasi

| No | Hasil Cross Over | R      | Pm  | Ket                    | Random (r1,r2)           | Nilai Ep1 dan Ep2                                  | Hasil mutasi |
|----|------------------|--------|-----|------------------------|--------------------------|--|--------------|
| X1 | 3-4-2-1          | 0.934  | 0.3 | Tidak dilakukan mutasi |                          |  | 3-4-2-1      |
| X2 | 3-2-4-1          | 0.6551 | 0.3 | Tidak dilakukan mutasi |                          |  | 3-2-4-1      |
| X3 | 2-1-3-4          | 0.119  | 0.3 | Dilakukan mutasi       | R1 = 0.378<br>R2 = 0.879 | Ep1 = 1.512 $\approx$ 2<br>Ep2 = 3.514 $\approx$ 4 | 2-4-3-1      |
| X4 | 1-4-2-3          | 0.849  | 0.3 | Tidak dilakukan mutasi |                          |  | 1-4-2-3      |
| X5 | 2-3-4-1          | 0.276  | 0.3 | Dilakukan mutasi       | R1 = 0.258<br>R2 = 0.957 | Ep1 = 1.034 $\approx$ 1<br>Ep2 = 3.827 $\approx$ 4 | 1-3-4-2      |

#### 10. Tahap 10 : Perhitungan Fungsi Tujuan dan Menentukan yang Terbaik

Menghitung total konsumsi energi pada seluruh populasi hasil mutasi. Kemudian didapatkan populasi terbaik yaitu pada populasi X4 dengan urutan *job* 1-4-2-3 dan total konsumsi energi sebesar 212 KW. Dengan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya, maka dihasilkan total konsumsi energi yaitu pada tabel 4.17.



Tabel 4.117 Total Konsumsi Energi

| No | Urutan        | Total konsumsi Energi (KW) |
|----|---------------|----------------------------|
| X1 | 3 – 4 – 2 – 1 | 214                        |
| X2 | 3 – 2 – 4 – 1 | 219                        |
| X3 | 2 – 4 – 3 – 1 | 220                        |
| X4 | 1 – 4 – 2 – 3 | 212                        |
| X5 | 1 – 3 – 4 – 2 | 222                        |

Solusi terbaik yang dihasilkan algoritma genetika akan digunakan sebagai inisialisasi paus pada tahapan selanjutnya menggunakan algoritma *Whale Optimization*. Sehingga populasi X4 akan menjadi paus 1 dalam inisialisasi populasi paus. Apabila dalam tahap inisialisasi populasi paus membutuhkan 5 paus. Maka pencarian solusi terbaik menggunakan algoritma genetika diulang sebanyak populasi paus butuhkan dengan mengulang tahapan yang sama sebelumnya.

#### 11. Tahap 11 : Rekapitulasi Urutan *Job* hasil *Genetic Algorithm*

Pada tahap ini merupakan hasil rekapitulasi populasi terbaik yang didapatkan dari penjadwalan menggunakan algoritma genetika. Kemudian hasil dari penjadwalan algoritma genetika akan dijadikan inisialisasi paus pada algoritma *Whale Optimization*.

Tabel 4.128 Hasil Rekapitulasi Penjadwalan Algoritma Genetika

| Paus | Urutan        | Total konsumsi Energi (KW) |
|------|---------------|----------------------------|
| 1    | 1 – 4 – 2 – 3 | 212                        |
| 2    | 2 – 1 – 4 – 3 | 213                        |
| 3    | 3 – 4 – 2 – 1 | 214                        |
| 4    | 2 – 4 – 3 – 1 | 220                        |
| 5    | 3 – 2 – 4 – 1 | 219                        |

#### 12. Tahap 12 : Penyesuaian Urutan *Job* Menjadi Vektor Posisi

Pada tahap ini urutan *job* hasil proses mutasi Algoritma Genetika dirubah kedalam vektor posisi dan menjadi inisialisasi populasi paus dalam Algoritma *Whale Optimization*. Dimensi yang digunakan sama dengan jumlah *job* yaitu 4. Adapun

batas atas (*ub*) yang digunakan dalam pembentukan posisi adalah 10 dan batas bawah (*lb*) -10. Dimana *lb* sebagai batas minimum dari posisi paus dan *ub* sebagai batas maksimum dari posisi paus. Berikut merupakan rumus penentuan vektor posisi dan contoh perhitungan posisi paus 1 pada dimensi 1 (Ali, Alnahwi, & Abdullah, 2019) :

$$\begin{aligned}
 \text{Posisi}(1,1) &= \text{rand}(\text{populasi}, \text{dimensi}) * (\text{ub} - \text{lb}) + \text{lb} \\
 &= \text{rand}(1,1) * (10 - (-10)) + (-10) \\
 &= 0.36605 \times 10 = 3.6605
 \end{aligned}$$

Dimana *rand* adalah bilangan acak yang dibangkitkan dari distribusi *uniform*. Hasil inisialisasi posisi paus dapat dilihat pada tabel 4.18. Karena hasil inisialisasi posisi masih acak, maka perlu penyesuaian posisi berdasarkan urutan *job* hasil algoritma genetika yang dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.139 Inisialisasi Posisi Paus

| Paus | Dimensi |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|
|      | 1       | 2       | 3       | 4       |
| 1    | 3.6605  | -4.0624 | -0.9032 | -3.4815 |
| 2    | 6.5556  | 0.511   | -8.8723 | -5.4153 |
| 3    | 2.2749  | -5.0159 | 3.2283  | 8.6444  |
| 4    | 3.3057  | -9.4708 | -3.5023 | 4.7902  |
| 5    | -0.9455 | 0.5313  | 8.5705  | -3.1967 |

Tabel 4.20 Vektor Posisi Paus Sesuai GA

| Paus | Job     |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|
|      | 1       | 2       | 3       | 4       |
| 1    | 3.6605  | -3.4815 | -4.0624 | -0.9032 |
| 2    | 0.511   | 6.5556  | -5.4153 | -8.8723 |
| 3    | -5.0159 | 2.2749  | 8.6444  | 3.2283  |
| 4    | -9.4708 | 4.7902  | -3.5023 | 3.3057  |
| 5    | -3.1967 | 0.5313  | 8.5705  | -0.9455 |

### 13. Tahap 13 : Menbentuk Urutan *Job* Menggunakan Metode LRV

Pada tahap ini, vektor posisi akan dikonversi dengan metode *Linear Ranking Value* (LRV) menjadi urutan *job*. Metode LRV yaitu mengurutkan atau meranking

nilai vektor posisi dari nilai terbesar hingga terkecil. Maka berikut Contoh penerapan metode LRV pada paus X1 :

|                        |         |         |         |                   |
|------------------------|---------|---------|---------|-------------------|
| 3.6605                 | -3.4815 | -4.0624 | -0.9032 | Vektor posisi     |
| ↓ Penerapan metode LRV |         |         |         |                   |
| 1                      | 4       | 2       | 3       | Urutan <i>job</i> |

Dengan tahapan yang sama menggunakan metode LRV maka hasil dari sampel X2, X3, X4 dan X5 adalah :

Tabel 4.141 Urutan *Job* hasil LRV

| Paus | Urutan <i>Job</i> |   |   |   |
|------|-------------------|---|---|---|
| 1    | 1                 | 4 | 2 | 3 |
| 2    | 2                 | 1 | 4 | 3 |
| 3    | 3                 | 4 | 2 | 1 |
| 4    | 2                 | 4 | 3 | 1 |
| 5    | 3                 | 2 | 4 | 1 |

#### 14. Tahap 14 : Menentukan Posisi Paus Terbaik

Dalam menentukan posisi paus terbaik dipilih berdasarkan total konsumsi energi paling minimum. Kemudian didapat paus 1 sebagai paus terbaik dengan total konsumsi energi sebesar 212 KW dengan urutan 1 – 4 – 2 – 3. Kemudian posisi dari urutan yang terpilih akan dijadikan *leader pos*.

#### 15. Tahap 15 : Memperbaruhi Posisi Paus

Dalam memperbaruhi posisi paus diperlukan mencari nilai dari beberapa parameter yaitu parameter  $a$ ,  $a2$ ,  $r1$ ,  $r2$ ,  $A$ ,  $C$ ,  $l$  dan  $p$ .

➤ Mencari nilai  $a$

$$a = 2 - t \times \left( \frac{2}{MaxIter} \right) = 2 - 1 \times \left( \frac{2}{2} \right) = 1$$

➤ Mencari nilai  $a2$

$$a2 = -1 + t \times \left( \frac{-1}{MaxIter} \right) = -1 + 1 \times \left( \frac{-1}{2} \right) = -1,5$$

- Menentukan nilai dari  $r1$  dan  $r2$  didapat dengan cara *generate* bilangan *random* [0,1].

$$r1 = 0.4978$$

$$r2 = 0.8577$$

- Mencari nilai  $A, C, l$  dan  $p$

$$A = 2 \times a \times r1 - a = 2 \times 1 \times 0.4978 - 1 = -0,0044$$

$$C = 2 \times r2 = 2 \times 0.8577 = 1.7154$$

$$l = (a2 - 1) \times rand + 1 = -0.4973$$

Nilai  $p$  didapat dengan cara *generate* bilangan *random*,  $p = 0.3979$ . karena  $p < 0.5$  maka rumus untuk memperbarui posisi menggunakan rumus pada persamaan 2.7.

- Perhitungan posisi terbaru

$$Leader\ pos = [ 3.6605 \quad -3.4815 \quad -4.0624 \quad -0.9032 ]$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak paus ke mangsa (D)} &= abs(leader\ pos\ (1) - posisi\ awal\ (2,1)) \\ &= abs((3.6605) - (0.511)) \\ &= 3.1495 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Posisi (1,1)} &= leader\ pos\ (1) - A.D \\ &= 3.6744 \end{aligned}$$

Rekapitulasi posisi terbaru dari paus dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.152 Rekapitulasi Posisi Terbaru

| Paus | Dimensi |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|
|      | 1       | 2       | 3       | 4       |
| 1    | 3.6605  | -3.4815 | -4.0624 | -0.9032 |
| 2    | 3.6744  | -3.4373 | -4.0565 | -0.8681 |
| 3    | 1.4741  | -5.1749 | -9.6244 | -5.6902 |
| 4    | 5.4621  | -2.4643 | 0.8497  | -0.8719 |
| 5    | 8.7074  | -0.0556 | 5.6489  | 2.5165  |

Setelah didapatkan posisi terbaru paus maka selanjutnya posisi diurutkan kembali dengan metode LRV. Berikut hasil urutan *job* dari posisi terbaru paus dapat dilihat pada tabel 4.23.

Tabel 4.163 Urutan *Job* Terbaru

| Paus | Dimensi |   |   |   |
|------|---------|---|---|---|
|      | 1       | 2 | 3 | 4 |
| 1    | 1       | 4 | 2 | 3 |
| 2    | 1       | 4 | 2 | 3 |
| 3    | 1       | 2 | 4 | 3 |
| 4    | 1       | 3 | 4 | 2 |
| 5    | 1       | 4 | 3 | 2 |

Pada tabel 4.23 dapat diketahui urutan *job* terbaru, kemudian selanjutnya menghitung total konsumsi energi pada tiap paus. Hasil rekapitulasi total konsumsi energi dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.174 Rekapitulasi Total Konsumsi Enrgi Terbaru

| Paus ke- | Urutan <i>Job</i> | Total Konsumsi energi (KW) |
|----------|-------------------|----------------------------|
| 1        | 1 – 4 – 2 – 3     | 212                        |
| 2        | 1 – 4 – 2 – 3     | 212                        |
| 3        | 1 – 2 – 4 – 3     | 217                        |
| 4        | 1 – 3 – 4 – 2     | 222                        |
| 5        | 1 – 4 – 3 – 2     | 192                        |

Dari tabel 4.24. dapat diketahui bahwa pada iterasi 2 paus yang menghasilkan total konsumsi energi terkecil yaitu 192 satuan energi pada paus 5. Rekapitulasi total komsumsi energi pada tiap iterasi dapat dilihat pada tabel 4.25.

Tabel 4.185 Rekapitulasi Total Konsumsi Energi pada Tiap Iterasi

| Iterasi ke- | Urutan <i>Job</i> | Total Konsumsi Energi (KW) |
|-------------|-------------------|----------------------------|
| Iterasi 1   | 1 – 4 – 2 – 3     | 212                        |
| Iterasi 2   | 1 – 4 – 3 – 2     | 192                        |

Pada tabel 4.25. dapat diketahui bahwa iterasi 2 menghasilkan total konsumsi energi paling minimum yaitu 192 KW dari pada iterasi 1.

```

waktukomputasi =
    0.3438

Leader_score =
    192

Leader_pos =
    4.2599    -0.5037    6.3177    7.2392

X =
    1     4     3     2

Convergence_curve =
    212    192

```

Gambar 4.2 Hasil Total Konsumsi Energi dengan Matlab

Gambar 4.2 menunjukkan hasil total konsumsi energi pada pengolahan matlab. Karena hasil dari perhitungan manual dan matlab sama, maka *coding* pada matlab dapat dinyatakan valid.

#### 4.3.3 Perhitungan Total Konsumsi Energi 4 Job 3 Mesin Menggunakan Metode FCFS Secara (manual)

Dalam perhitungan algoritma FCFS dengan kasus *flowshop* sederhana 4 Job dan 3 mesin menggunakan waktu proses pada tabel 4.6, besar konsumsi energi yang dikeluarkan tiap mesin pada tabel 4.7. Berikut merupakan tahapan perhitungan total Konsumsi Energi menggunakan metode FCFS :

##### 1. Tahap 1 : Pengurutan *job* berdasarkan waktu pemesanan

Pada metode FCFS pengurutan *job* dilakukan berdasarkan waktu pemesanan *job* tersebut datang. Maka dapat ditentukan urutan *job* dari metode FCFS yaitu : *Job1 – Job2 – Job3 – Job4*.

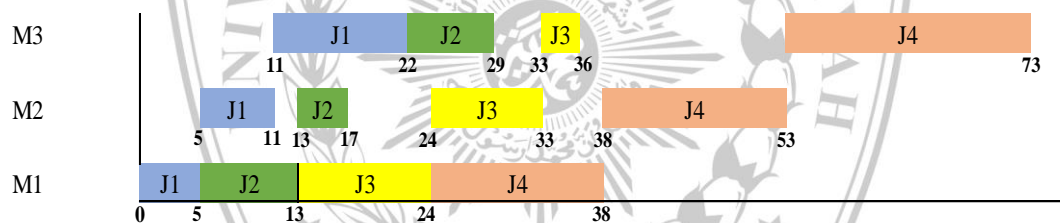
##### 2. Tahap 2 : Perhitungan fungsi Tujuan

Pada tahap perhitungan fungsi tujuan akan dihitung nilai total konsumsi energi dengan urutan *job* yaitu *Job1 – Job2 – Job3 – Job4*. Berikut tabel 4.26 merupakan hasil perhitungan total konsumsi energi.

Tabel 4.196 Hasil Total Konsumsi Energi metode FCFS Kasus Sederhana

| Urutan<br>Job                           | Waktu proses |    |    | Mulai |    |    | SELESAI |    |     |
|---|--------------|----|----|-------|----|----|---------|----|-----|
|   | M1           | M2 | M3 | M1    | M2 | M3 | M1      | M2 | M3  |
| J1                                      | 5            | 6  | 11 | 0     | 0  | 0  | 5       | 11 | 22  |
| J2                                      | 8            | 4  | 7  | 5     | 11 | 22 | 13      | 17 | 29  |
| J3                                      | 11           | 9  | 3  | 13    | 17 | 29 | 24      | 33 | 36  |
| J4                                      | 14           | 15 | 20 | 24    | 33 | 36 | 38      | 53 | 73  |
| Waktu sibuk tiap mesin (Bi)             |              |    |    |       |    |    | 38      | 34 | 41  |
| Waktu mulai tiap mesin (Yi)             |              |    |    |       |    |    | 0       | 5  | 11  |
| Waktu penyelesaian tiap mesin (CTi)     |              |    |    |       |    |    | 38      | 53 | 73  |
| Waktu idle tiap mesin (Wii)             |              |    |    |       |    |    | 0       | 14 | 21  |
| Konsumsi Energi saat waktu proses (Epi) |              |    |    |       |    |    | 76      | 34 | 82  |
| Konsumsi Energi saat waktu idle (Eii)   |              |    |    |       |    |    | 0       | 14 | 21  |
| Total Konsumsi energi tiap Mesin        |              |    |    |       |    |    | 76      | 48 | 103 |
| TOTAL KONSUMSI ENERGI                   |              |    |    |       |    |    | 227 KW  |    |     |

Dari hasil perhitungan pada metode FCFS didapat total waktu penyelesaian seluruh *job* yaitu 73 detik dan menghasilkan konsumsi energi sebesar 227 KW. *Gantt chart* dapat dilihat pada gambar 4.3

Gambar 4. 3 *Gantt Chart* Metode FCFS Kasus Sederhana

#### 4.3.4 Penjadwalan Dengan Metode Perusahaan

Penjadwalan yang dilakukan oleh perusahaan menggunakan metode FCFS, yaitu dengan mengurutkan *job* dari pertama datang maka didapatkan urutan *job* 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13. Kemudian dilakukan perhitungan total konsumsi energi berdasarkan urutan tersebut menggunakan data waktu proses (pada tabel 4.5), sehingga menghasilkan konsumsi energi sebesar 936.48. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.27.

Tabel 4.207 Hasil Total Konsumsi Energi Metode Perusahaan

| Urutan<br>Job                                | Mulai   |         |         |          |          |          | SELESAI |         |          |          |          |          |
|--|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
|  | M1      | M2      | M3      | M4       | M5       | M6       | M1      | M2      | M3       | M4       | M5       | M6       |
| J1   | 0       | 311.11  | 497.78  | 527.78   | 541.11   | 561.11   | 311.11  | 497.78  | 527.78   | 541.11   | 561.11   | 581.11   |
| J2   | 311.11  | 497.78  | 527.78  | 541.11   | 574.44   | 581.11   | 338.89  | 497.78  | 527.78   | 574.44   | 574.44   | 581.11   |
| J3   | 338.89  | 497.78  | 527.78  | 574.44   | 591.11   | 591.11   | 352.78  | 497.78  | 527.78   | 591.11   | 591.11   | 591.11   |
| J4   | 352.78  | 575.00  | 575.00  | 591.11   | 857.78   | 857.78   | 575.00  | 575.00  | 575.00   | 857.78   | 857.78   | 857.78   |
| J5   | 575.00  | 769.44  | 886.11  | 886.11   | 919.44   | 919.44   | 769.44  | 886.11  | 886.11   | 919.44   | 919.44   | 919.44   |
| J6   | 769.44  | 886.11  | 902.98  | 919.44   | 920.91   | 923.11   | 797.56  | 902.98  | 906.28   | 920.91   | 923.11   | 925.31   |
| J7   | 797.56  | 3607.00 | 5292.67 | 5409.37  | 5461.23  | 5539.03  | 3607.00 | 5292.67 | 5409.37  | 5461.23  | 5539.03  | 5616.83  |
| J8   | 3607.00 | 5292.67 | 5564.73 | 5564.73  | 5584.17  | 5616.83  | 4060.44 | 5564.73 | 5564.73  | 5584.17  | 5584.17  | 5616.83  |
| J9   | 4060.44 | 5564.73 | 5716.40 | 5716.40  | 5868.07  | 5868.07  | 4313.22 | 5716.40 | 5716.40  | 5868.07  | 5868.07  | 5868.07  |
| J10  | 4313.22 | 5716.40 | 5716.40 | 5868.07  | 6702.60  | 6702.60  | 5008.67 | 5716.40 | 5716.40  | 6702.60  | 6702.60  | 6702.60  |
| J11  | 5008.67 | 5716.40 | 5868.07 | 6702.60  | 6854.27  | 6854.27  | 5261.44 | 5868.07 | 5868.07  | 6854.27  | 6854.27  | 6854.27  |
| J12  | 5261.44 | 5868.07 | 5868.07 | 6854.27  | 6887.33  | 6887.33  | 5289.00 | 5868.07 | 5868.07  | 6887.33  | 6887.33  | 6887.33  |
| J13  | 5289.00 | 8205.67 | 9955.67 | 10180.67 | 10280.67 | 10430.67 | 8205.67 | 9955.67 | 10180.67 | 10280.67 | 10430.67 | 10580.67 |
| Waktu sibuk tiap mesin (Bi)                  |         |         |         |          |          |          | 8205.67 | 4331.27 | 375.00   | 1707.03  | 250.00   | 250.00   |
| Waktu mulai tiap mesin (Yi)                  |         |         |         |          |          |          | 0       | 311.11  | 497.78   | 527.78   | 541.11   | 561.11   |
| Waktu penyelesaian tiap mesin (CTi)          |         |         |         |          |          |          | 8205.67 | 9955.67 | 10180.67 | 10280.67 | 10430.67 | 10580.67 |
| Waktu <i>idle</i> tiap mesin (Wii)           |         |         |         |          |          |          | 0       | 5313.29 | 9307.89  | 8045.86  | 9639.56  | 9769.56  |
| Konsumsi Energi saat waktu proses (Epi)      |         |         |         |          |          |          | 601.75  | 12.63   | 21.88    | 108.98   | 3.33     | 12.50    |
| Konsumsi Energi saat waktu <i>idle</i> (Eii) |         |         |         |          |          |          | 0       | 0       | 108.59   | 63.03    | 0        | 0        |
| Total Konsumsi energi tiap Mesin             |         |         |         |          |          |          | 601.75  | 12.63   | 130.47   | 172.01   | 3.33     | 12.50    |
| TOTAL KONSUMSI ENERGI                        |         |         |         |          |          |          | 932.69  |         |          |          |          |          |



#### 4.3.5 Penjadwalan Dengan Metode Usulan GAWOA

Pada penjadwalan metode GAWOA, membangkitkan populasi dengan *generate* bilangan *random* sebanyak  $N=10, 50$  dan  $100$ , menggunakan parameter pembanding  $P_c$   $0.5$  dan  $0.9$ , dan parameter  $P_m$   $0.1$  dan  $0.3$ . Menurut Mahmudy (2013) ukuran populasi antara  $30$  hingga  $50$ ,  $P_c$  antara  $0.3$  hingga  $0.8$  dan  $P_m$  antara  $0.1$  hingga  $0.3$  sudah cukup memadai dalam pengujian awal. Kemudian dilakukan kombinasi pada tiap parameter pembanding untuk menghasilkan variasi parameter yang berbeda. Perhitungan total konsumsi energi menggunakan bantuan *software* matlab, hasil konsumsi energi dan waktu komputasi dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.218 Hasil Rekapitulasi Total Konsumsi Energi dengan Metode Usulan

| N   | Iterasi | Pc  | Pm  | Total<br>Konsumsi<br>Energi<br>(KW) | Urutan Job                    | Waktu<br>Komputasi<br>(detik) |
|-----|---------|-----|-----|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 10  | 20      | 0.5 | 0.1 | 843.72                              | 7-12-4-10-6-2-11-9-1-13-5-3-8 | 1.406                         |
|     |         |     | 0.3 | 828.79                              | 13-6-9-12-5-2-11-3-4-10-7-8-1 | 1.408                         |
|     |         | 0.9 | 0.1 | 839.65                              | 13-3-8-9-10-11-4-12-6-7-5-2-1 | 1.406                         |
|     |         |     | 0.3 | 826.81                              | 13-10-2-7-9-12-5-11-3-4-6-1-8 | 1.422                         |
|     | 100     | 0.5 | 0.1 | 824.56                              | 13-8-7-11-6-3-10-12-5-4-1-2-9 | 6.797                         |
|     |         |     | 0.3 | 820.15                              | 13-7-6-9-8-10-11-4-12-1-3-2-5 | 6.828                         |
|     |         | 0.9 | 0.1 | 823.18                              | 13-5-9-7-4-2-1-6-10-3-8-11-12 | 6.744                         |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-11-3-6-10-8-4-1-9-2-5-12 | 6.813                         |
| 50  | 20      | 0.5 | 0.1 | 819.19                              | 13-7-2-11-12-6-5-10-1-3-9-8-4 | 35.688                        |
|     |         |     | 0.3 | 819.22                              | 13-7-9-12-11-10-4-3-6-8-2-1-5 | 34.875                        |
|     |         | 0.9 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-11-10-5-1-12-3-2-9-6-8-4 | 36.078                        |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-10-11-8-1-4-9-6-12-3-5-2 | 35.938                        |
|     | 100     | 0.5 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-12-3-6-2-10-8-9-1-11-5-4 | 184.063                       |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-3-9-10-5-1-6-2-11-12-8-4 | 197.594                       |
|     |         | 0.9 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-12-3-2-10-11-1-6-9-5-8-4 | 175.703                       |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-3-9-4-12-11-8-1-6-10-5-2 | 176.438                       |
| 100 | 20      | 0.5 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-6-5-10-8-9-1-11-3-2-12-4 | 165.906                       |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-10-1-2-3-5-6-8-9-11-12-4 | 162.656                       |
|     |         | 0.9 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-3-12-10-9-6-2-11-5-1-8-4 | 162.859                       |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-11-3-10-1-6-4-8-9-12-5-2 | 148.266                       |
|     | 100     | 0.5 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-12-2-6-10-1-11-8-3-9-5-4 | 752.203                       |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-10-8-5-11-1-6-9-3-2-12-4 | 762.969                       |
|     |         | 0.9 | 0.1 | 819.04                              | 13-7-12-11-4-1-9-6-8-10-3-5-2 | 736.969                       |
|     |         |     | 0.3 | 819.04                              | 13-7-4-10-2-1-8-3-6-11-9-5-12 | 816.938                       |

Berdasarkan pada tabel 4.28, dihasilkan nilai total konsumsi energi minimum adalah 819.04 KW, pada populasi 10, parameter  $P_c = 0.9$  dan  $P_m = 0.3$  dengan maksimum iterasi 100 dan besar waktu komputasi 6.813 detik. Urutan *job* yang dihasilkan adalah 13-7-11-3-6-10-8-4-1-9-2-5-12.

#### 4.3.6 Uji Performance

Uji performansi dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan metode mana yang lebih baik dengan mengukur nilai efisiensi. Efisiensi digunakan sebagai tolak ukur dalam penentuan metode terbaik berdasarkan hasil perbedaan total konsumsi energi dari kedua metode tersebut. Untuk mengetahui nilai efisien yang dihasilkan yaitu menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Efisiensi = \frac{Z(T.konsumsi\ energi\ Perusahaan) - Z(T.konsumsi\ energi\ GWOA)}{Z(T.konsumsi\ energi\ Perusahaan)} \times 100\%$$

Dalam hasil perhitungan nilai total konsumsi energi pada metode usulan (GAWOA) didapatkan total konsumsi energi sebesar 819.042 KW dan pada metode perusahaan didapatkan total konsumsi energi sebesar 932.69 KW. Maka efisiensi yang dihasilkan dari perbandingan antara dua metode tersebut ialah :

$$Efisiensi = \frac{Z(T.konsumsi\ energi\ Perusahaan) - Z(T.konsumsi\ energi\ GWOA)}{Z(T.konsumsi\ energi\ Perusahaan)} \times 100\%$$

$$Efisiensi = \frac{932.69 - 819.042}{932.69} \times 100\%$$

$$Efisiensi = 12.18\%$$

Dari hasil perhitungan nilai efisiensi, didapatkan besar efisiensi yang dihasilkan yaitu 12.18%. Maka dapat diartikan bahwa metode usulan (GAWOA) lebih efisien dibanding metode yang diterapkan oleh perusahaan saat ini.

#### 4.3.7 Perbandingan Penjadwalan GAWOA dengan Metode Perusahaan

Berikut hasil perbandingan penjadwalan GAWOA dengan Perusahaan dapat dilihat pada tabel 4.29.

Tabel 4.229 Perbandingan Metode Penjadwalan

| No | Metode                   | Urutan <i>Job</i>             | Total Konsumsi Energi (KW) |
|----|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1  | Penjadwalan Perusahaan   | 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13 | 932.69                     |
| 2  | Penjadwalan Usulan GAWOA | 13-7-11-3-6-10-8-4-1-9-2-5-12 | 819.042                    |
| 3  | Selisih                  |                               | 113.6482                   |
| 4  | Efisiensi                |                               | 12.18%                     |

Dalam perhitungan total konsumsi energi yang sudah dijelaskan sebelumnya didapatkan bahwa hasil total konsumsi enenrgi metode usulan (GAWOA) sebesar 819.042 KW, sedangkan metode perusahaan (FCFS) dihasilkan total konsumsi energi sebesar 936.69 KW. Maka selisaih dari total konsumsi energi sebesar 113.6482 KW. Dari hasil perhitungan nilai efisiensi, didapatkan nilai sebesar 12.18% yang artinya bahwa berdasarkan nilai total konsumsi energi algoritma GAWOA lebih baik dan efisien dibandingkan metode yang digunakan oleh perusahaan saat ini.